

В.С. Терещенко

## Системный анализ реконфигурации полосы пропускания оптоволоконных трактов видеоконференцсвязи

По результатам системного анализа определены варианты реконфигурации пропускной способности каналов оптической видеоконференцсвязи. Проанализированы две технологии: *DWDM* и *CWDM*.

According to the results of the system analysis the options of the reconfiguration bandwidth optical video conferencing are defined. Two technologies: *DWDM* and *CWDM* are analyzed.

За результатами системного аналізу визначено варіанти реконфігурації пропускної здатності каналів оптичного відеоконференцз'язку. Проаналізовано дві технології: *DWDM* та *CWDM*.

**Введение.** В статье предложены методы системного анализа реконфигурации спектра частот оптоволоконных трактов (ОВТ), передающие данные в режиме видеоконференцсвязи (ВКС) [1].

При передаче компонент мультимедийного трафика (ММТ) ВКС в рамках новой технологии мультиплексирования по длине волны высокой плотности [2] межканальные интервалы (МКИ) *DWDM* малы, что обеспечивает высокую пропускную способность ОВТ, но при этом требует относительно высоких затрат на обеспечение передачи ММТ с минимальными потерями его компонент.

С учетом этого вводится модифицированная технология *CWDM* (грубое уплотнение по длине волны), не обеспечивающая высокой пропускной способности ОВТ, но за счет больших МКИ надежнее и требует меньших затрат [2].

Исходя из требований ВКС с передачей помеченного ММТ в рамках технологии многопротокольной передачи помеченного трафика (МППТ, *MPLS*), лучше всего создавать такие участки ОВТ, которые могут поддерживаться как технологией *DWDM*, так и технологией *CWDM*. Главная задача – создание вариантов комбинированной технологии *CWDM/DWDM*,

когда некоторая часть каналов *CWDM* формируется по технологии *DWDM* [2, 3]. В таблице 1 приведены параметры реконфигурации ОВТ, реализуемой в рамках этих технологий.

Т а б л и ц а 1. Технические параметры

Стандарт I TU G6942	МКИ	Общее число каналов в ОВТ	Длина ОВТ между ретрансляторами	Потери из-за помех взаимодействия
<i>DWDM</i>	0,8 нм	8, 32 и 64	100 км	0,006
<i>CWDM</i>	20 нм	4, 8 и 16	160 км	0,004

Цель системного анализа заключается в разработке методов количественной оценки эффективности передачи пакетов в виде контейнеров ячеек асинхронного метода передачи (АМП) с минимальными суммарными потерями по всему ОВТ виртуального канала (ВК) АМП [3–5].

### Постановка задачи

Для достижения указанной цели: анализа эффективности реконфигурации спектра ОВТ ВК, состоящего из отдельных последовательно соединенных участков ОВТ, необходимо решить две базовые задачи.

- Создать метод анализа влияния перегрузок поступающего ММТ (интенсивности поступления пакетов  $\lambda$  на узел коммутации (УК) каждого участка ОВТ) на величину потерь пакетов для различных режимов используемых технологий *CWDM* и *DWDM*.

- Создать метод сравнительного анализа суммарных потерь пакетов по всему ОВТ ВК для

**Ключевые слова:** видеоконференцсвязь, мультимедийный трафик, мультиплексирование по длине волны высокой плотности.

двух случаев передачи пакетов: технология *CWDM* и технология *DWDM*.

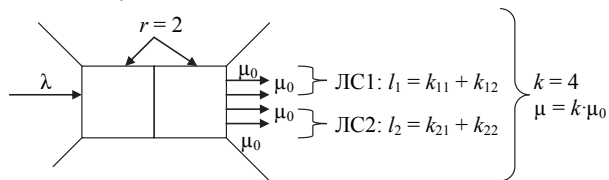
**Метод анализа передачи пакетов мультимедийного трафика узлом коммутации в рамках технологии *CWDM* и *DWDM***

Метод анализа должен обеспечивать оценку потерь пакетов в зависимости от степени пропускной способности линий связи (ЛС), точнее, от числа каналов, исходящих из УК каждого участка ОВТ.

В основу анализа эффективности передачи пакетов ММТ положена модель системы массового обслуживания дискретно-событийных компонент цифровой связи.

В статье предложен новый подход к формализации процесса передачи, где временная диаграмма появления случайных состояний процесса и граф переходов из одного состояния в другое позволяют определить вероятности нахождения процесса для стационарного стохастического режима передачи.

Из сказанного следует, что при формировании метода анализа нужно исходить из параметров функциональной структуры УК (рис. 1) и временной диаграммы процесса передачи пакетов (рис. 2). Рассматривается типовая стандартная структура УК: две ячейки памяти и четыре канала передачи (по две в каждой линии связи).



- $l$  – линия связи (ЛС),
- $\lambda$  – интенсивность поступления пакетов,
- $\mu$  – интенсивность передачи пакетов линии связи (ЛС), состоящей из  $k$  каналов с интенсивностью передачи пакетов  $\mu_0$ ,
- $\mu_0$  – интенсивность передачи одним каналом,
- $k$  – число ячеек памяти,
- $r$  – число каналов.

Рис. 1. Функциональная структура узла коммутации с четырьмя исходящими каналами (технология *CWDM* см. табл. 1)

Функциональная структура УК представляет собой, как указывалось выше, типичную систему массового обслуживания [6].

Временная диаграмма процесса представляет собой последовательность появления во времени состояний стохастического вероятностного

процесса, который описывает его с учетом интенсивностей поступления и передач пакетов без ожидания, с ожиданием, без потерь, с потерями (рис. 2).

Исходя из временной диаграммы процесса передач пакетов, можно сформировать граф переходов процесса передачи из одного состояния в другое (рис. 3) [7].

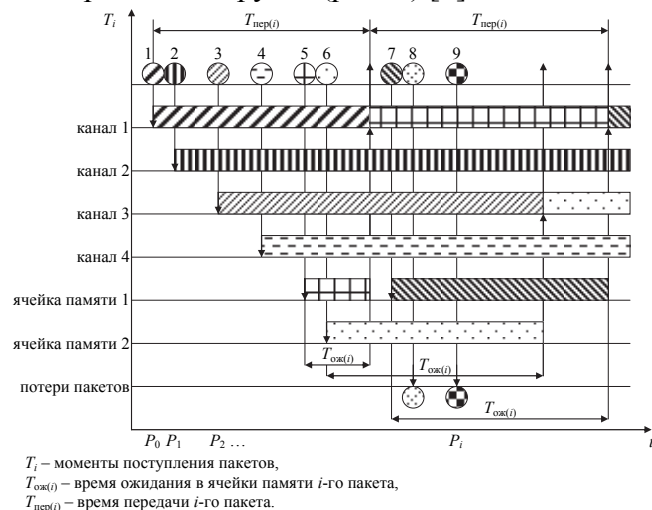


Рис. 2. Временная диаграмма процесса передачи пакетов

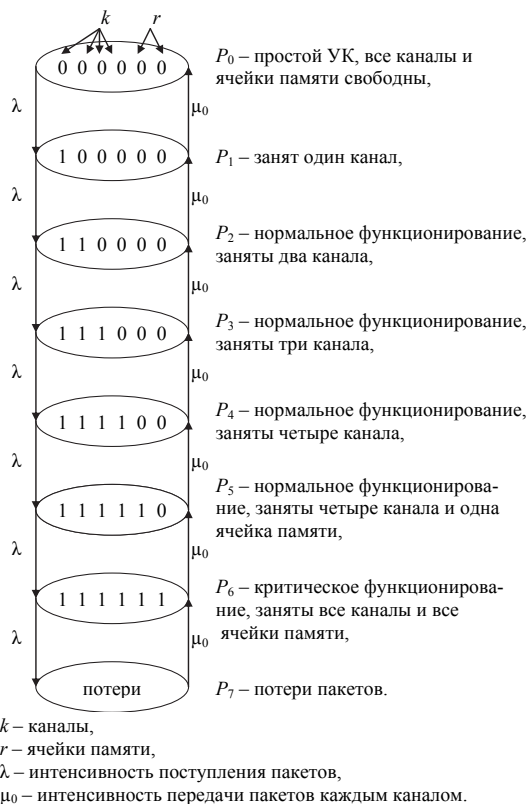


Рис. 3. Граф переходов процесса передачи из одного состояния в другое

Граф переходов позволяет составить систему уравнений, описывающих стационарный стохастический режим функционирования УК. Решение системы уравнений обеспечивает оценку вероятностей  $P_i$  попадания процесса в то или иное состояние.

Как видно из графа переходов (рис. 3), можно сформировать систему уравнений, оценивающих вероятности пребывания процесса в том или ином состоянии.

Система уравнений Колмогорова для оценки вероятностей процессов:

$$\begin{cases} dP_0 / dt = -\lambda P_0 + \mu_0 P_1 \\ dP_1 / dt = \lambda P_0 - \lambda P_1 - \mu_0 P_1 + \mu_0 P_2 \\ dP_2 / dt = \lambda P_1 - \lambda P_2 - \mu_0 P_2 + \mu_0 P_3 \\ dP_3 / dt = \lambda P_2 - \lambda P_3 - \mu_0 P_3 + \mu_0 P_4 \\ dP_4 / dt = \lambda P_3 - \lambda P_4 - \mu_0 P_4 + \mu_0 P_5 \\ dP_5 / dt = \lambda P_4 - \lambda P_5 - \mu_0 P_5 + \mu_0 P_6 \\ dP_6 / dt = \lambda P_5 - \lambda P_6 - \mu_0 P_6 + \mu_0 P_7 \\ dP_7 / dt = \lambda P_6 - \mu_0 P_7 \end{cases} \quad (1)$$

Приравняв левые части уравнения нулю, получим систему уравнений для предельных вероятностей состояний стационарного стохастического процесса:

$$\begin{cases} -\lambda P_0 + \mu_0 P_1 = 0 \\ \lambda P_0 - \lambda P_1 - \mu_0 P_1 + \mu_0 P_2 = 0 \\ \lambda P_1 - \lambda P_2 - \mu_0 P_2 + \mu_0 P_3 = 0 \\ \lambda P_2 - \lambda P_3 - \mu_0 P_3 + \mu_0 P_4 = 0 \\ \lambda P_3 - \lambda P_4 - \mu_0 P_4 + \mu_0 P_5 = 0 \\ \lambda P_4 - \lambda P_5 - \mu_0 P_5 + \mu_0 P_6 = 0 \\ \lambda P_5 - \lambda P_6 - \mu_0 P_6 + \mu_0 P_7 = 0 \\ \lambda P_6 - \mu_0 P_7 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $\lambda$  – интенсивность поступления пакетов в УК,  $\mu_0$  – интенсивность передачи пакетов каждым каналом, при этом  $\lambda > \mu_0$ .

Для нахождения вероятностей попадания в эти состояния  $P_i$ , система уравнений должна решаться с учетом уравнения нормирования:

$$\sum_{i=0}^{r+k+1} P_i = 1, \text{ т.е.}$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 1. \quad (3)$$

Этим уравнением необходимо заменить любое из входящих в систему уравнений.

Коэффициент потерь пакетов ( $K_{\text{пт}}$ ) устанавливает зависимость потерь от параметров УК: числа каналов  $k$  и числа ячеек памяти  $r$ , с одной стороны, а также от интенсивностей поступления пакетов  $\lambda$  и передачи пакетов с учетом разного числа каналов, каждый из которых обладает определенной интенсивностью передачи –  $\mu_0$ , с другой.

Для приведенного примера  $K_{\text{пт}}$  определяется следующим образом:

$$K_{\text{пт}} = P_6 + P_7, \quad (4)$$

$$K_{\text{пт}} = \rho^5 a + \rho^6 a, \quad (5)$$

где  $a = \frac{1}{\frac{1}{\rho} + 1 + \rho + \rho^2 + \rho^3 + \rho^4 + \rho^5 + \rho^6}$ , а  $\rho = \frac{\lambda}{\mu_0}$ .

В общем случае формула (4) имеет вид:

$$K_{\text{пт}} = a \cdot (\rho^{r+k-1} + \rho^{r+k}), \quad (6)$$

где  $a = \frac{\rho - 1}{\rho^{r+k+1} - \frac{1}{\rho}}$ , а  $\rho = \frac{\lambda}{\mu_0} > 1$ ,  $\lambda > \mu_0$ , т.е.  $\rho \neq 1$ .

Аналогично оцениваются потери пакетов для УК с технологией *DWDM*. Здесь будет уже не 4, а 8 каналов (см. табл. 1).

На рис. 4 приведены графики зависимости  $K_{\text{пт}}$  от параметров процесса, которые определяются интенсивностями  $\lambda$  и  $\mu = k \cdot \mu_0$  для заданных параметров функциональных структур УК ( $r = 2$ ) (рис. 4,а) и ( $r = 4$ ) (рис. 4,б).

Из анализа данных графиков следует, что при увеличении объема памяти потери уменьшаются. Однако это увеличивает задержку передаваемых пакетов. Поэтому всегда целесообразно иметь  $r \leq 4$  и снижать потери за счет повышения интенсивности передачи пакетов.

На рис. 5 показаны аналогичные графики анализа потерь для технологии *DWDM* (8 каналов) при тех же значениях памяти интенсивностей передачи каждым каналом.

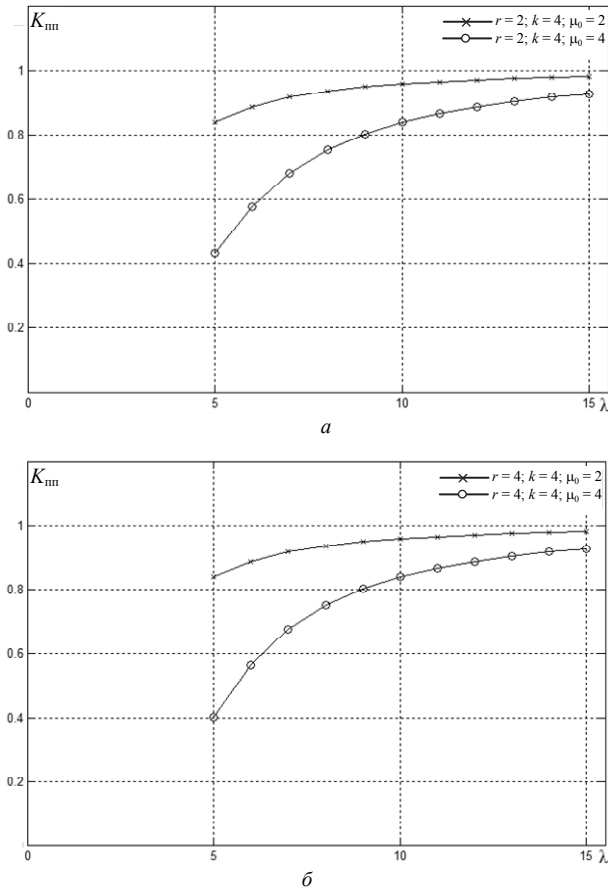


Рис. 4. Графики зависимости коэффициента потерь пакетов от интенсивностей входящего потока пакетов для двух случаев назначения числа ячеек памяти: а)  $r = 2$ ; б)  $r = 4$  или двух случаев повышения интенсивности передачи пакетов  $\mu_0 = 1$  и  $\mu_0 = 2$  каждым каналом в рамках технологии *CWDM*

### Метод анализа суммарных потерь пакетов при передаче их в рамках технологий *CWDM* и *DWDM*

Исходя из параметров, характеризующих каждую технологию передачи пакетов (*CWDM* и *DWDM*), можно привести пример сравнительного анализа эффективности применения каждой из них.

Сущность сравнительного анализа можно проиллюстрировать на простом примере. Пусть ВК, состоящий из отдельных ОБТ передачи, представляет собой магистраль оптической связи длиной ВК 800 км в рамках технологии *ATM/DWDM* [2, 4]. Тогда, используя данные табл. 1, можно сформировать исходные предпосылки для получения суммарных потерь ММТ, передаваемого по этому ВК в рамках

рассматриваемых технологий *CWDM* и *DWDM* (табл. 2).

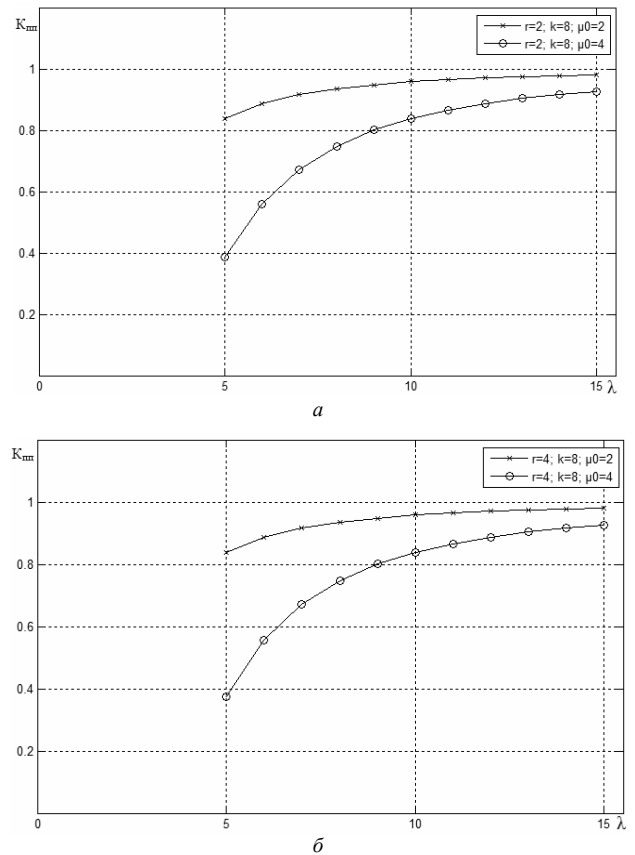


Рис. 5. Графики зависимости коэффициента потерь пакетов от различного числа ячеек памяти в рамках технологии *DWDM*

Таблица 2. Исходные данные для расчета суммарных потерь пакетов, обусловленных взаимовлиянием помех при различных межканальных интервалах (МКК)

	МКИ	Число участков ОБТ	Потери на участке	Суммарные потери
<i>DWDM</i>	0,8 нм	$\frac{800}{100} = 8$	0,008	0,064
<i>CWDM</i>	20 нм	$\frac{800}{160} = 5$	0,004	0,02

Используя данные графиков анализа влияния перегрузок на потери в зависимости от интенсивности поступления пакетов на каждый УК, можно просуммировать их и получить вероятность потерь пакетов от перегрузок по всему ВК (для *DWDM* – 8 участков, а для *CWDM* – 5 участков). Кроме того, следует добавить к этим потерям от перегрузок величины

потерь, обусловленных взаимодействием помех при малых МКИ (табл. 2).

На рис. 6 и 7 показаны графики суммарных потерь пакетов (аналогичные графикам рис. 4 и 5).

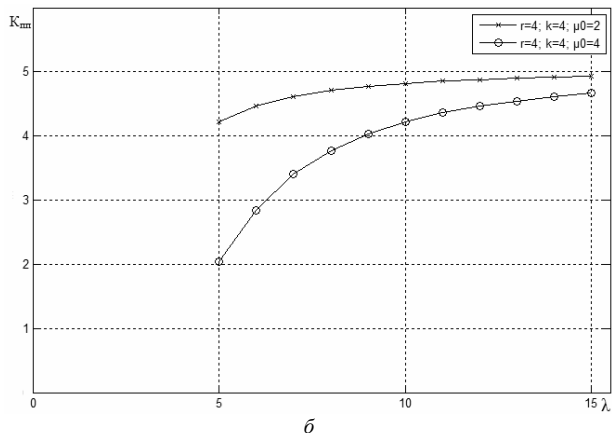
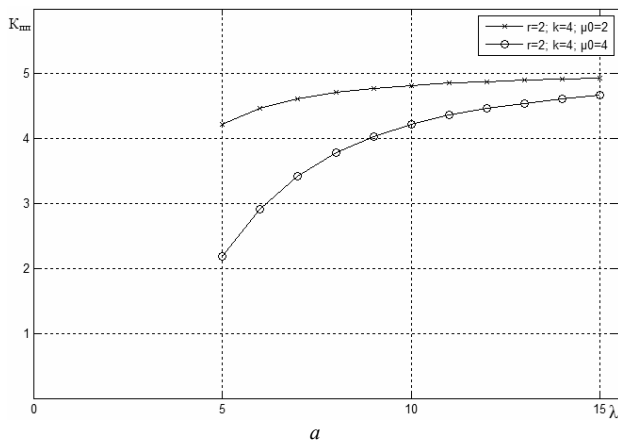


Рис. 6. Графики зависимости суммарных потерь пакетов (от перегрузок и помех) от интенсивностей входящего потока пакетов для двух случаев назначения числа ячеек памяти: а)  $r = 2$ ; б)  $r = 4$  или двух случаев повышения интенсивности передачи пакетов  $\mu_0 = 1$  и  $\mu_0 = 2$  каждым каналом в рамках технологии *CWDM*

Используя графики этого анализа, можно найти оптимальные режимы реконфигурации спектра в ОВТ ВК.

Анализируя данные полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- Для снижения потерь пакетов необходимо повышение степени пропускной способности каналов передачи (рис. 6 и 7).
- Повышение объема памяти дает незначительное снижение потерь пакетов при большой пропускной способности каналов.

**Заключение.** Оптическая связь – единственное средство связи, обеспечивающее контроль и управление процессами реального времени (телемедицина, диспетчеризация сложных процессов реального времени). В основе технологии многопротокольной передачи помеченного трафика (*MPLS*) оптическая связь в рамках новых ее технологий *ATM/DWDM* или *ATM/CWDM* пока единственная связь передачи битового потока со скоростями более 100 Мб/сек [2].

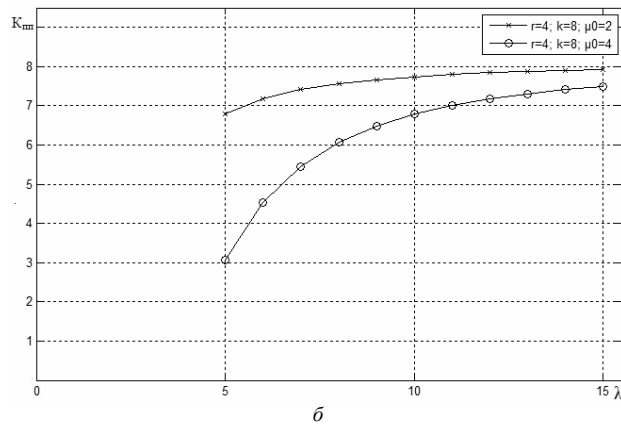
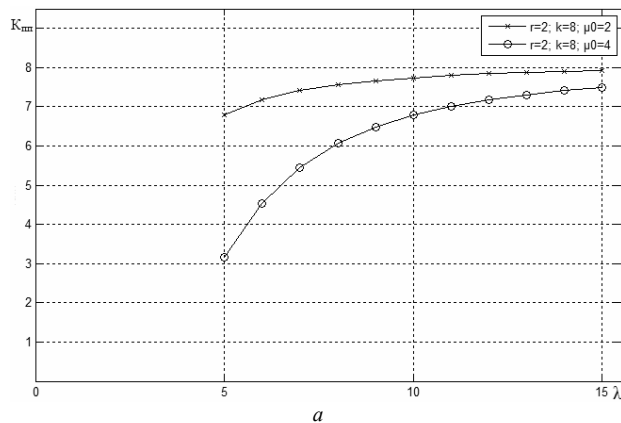


Рис. 7. Графики зависимости суммарных потерь пакетов вероятности от различного числа ячеек памяти в рамках технологии *DWDM*

В статье предложены методы первичного анализа эффективности передачи ММТ с использованием новых наиболее перспективных технологий *DWDM* и *CWDM*. Приведенные результаты (рис. 4 и 5, а также рис. 6 и 7) подтверждают практическую целесообразность использования созданных методов анализа для математического и программного обеспечения инструментально-технологических систем интел-

лектуального проектирования и разработки ОВТ для ВК АТМ.

Программные модули количественного анализа эффективности передачи пакетов ММТ, в основу которых положено предлагаемое математическое обеспечение, вполне могут быть использованы для программного обеспечения инструментально-технологических систем автоматизации проектирования и разработки [8, 9].

1. Синекон В.С., Цикин И.А. Система компьютерной видеоконференцсвязи. – СПб.: Мобильные коммуникации, 1999. – 232 с.
2. Бауер Х. Миграция от CWDM к DWDM // *Lan*. – 2003. – № 3. – С. 28–33.
3. Олвейн В. Структура и реализация современной технологии MPLS. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 480 с.
4. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ – технология высокоскоростных сетей. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997. – 238 с.
5. Ластовченко М.М., Русецкий В.Е., Ярошенко В.Н. Системный анализ эффективности функционирова-

ния широкополосной транспортной платформы интеллектуальных сетей // *Математичні машини і системи*. – 2006. – № 1. – С. 28–39.

6. Анисимов В.В., Лебедев В.А. Стохастические сети обслуживания. К.: Либідь, 1992. – 208 с.
7. Ластовченко М.М., Губенко А.Е. Анализ вероятностных характеристик узла коммутации пакетов, реализующего межсетевые функции при изменяющейся нагрузке // *Электросвязь*. – 1990. – № 9. – С. 31–34.
8. Ластовченко М.М., Терещенко В.С. Концепция введения графического программирования в управление моделированием сложных дискретно-событийных систем // *УСиМ*. – 2008. – № 6. – С. 72–81.
9. Программное обеспечение инструментально-технологической системы проектирования телекоммуникаций со сменяемым набором модулей моделирования / И.А. Жуков, М.М. Ластовченко, В.А. Лукашенко и др. // *Проблемы программирования*. – 2010. – № 2/3. – С. 46–57.

Поступила 10.11.2010  
Тел. для справок: (044) 361-5059 (Киев)  
E-mail: bynthtcyj@yahoo.com  
© В.С. Терещенко, 2011

Окончание статьи В.А. Романкевича и др.

**Заключение.** Предлагаемая структура автономного бесповторного генератора псевдослучайных двоичных векторов заданного веса может быть использована при расчете вероятности безотказной работы ОМС путем проведения статистических экспериментов с моделями поведения ОМС в потоке отказов.

1. Харченко В.С., Одаруценко О.Н., Поночевный Ю.Л. Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов космических систем. – Харьков: ХАИ, 2010. – 372 с.
2. Kuo Way, Ming J. Zuo. *Optimal Reliability Modeling*. – NY: John Willey & Sons, 2002. – № 4. – 560 p.
3. Об одном подходе к расчету надежности отказоустойчивых многопроцессорных систем / А.М. Романкевич, В.В. Гроль, Л.Ф. Карачун и др. // *Сб. Авто-*

матизированные системы управления и приборы автоматики. – 2002. – № 119. – С. 54–58.

4. Об одной особенности тестирования моделей отказоустойчивых многопроцессорных систем при расчете их надежности / В.В. Гроль, М.Н. Орлова, В.А. Романкевич и др. // *Вісн. Технол. ун-ту Поділля*. – 2003. – Т. 2, № 3. – С. 40–42.
5. Гроль В.В., Хедаятоллах Бахтари, Фаллаги Али. Структурный метод формирования последовательностей двоичных псевдослучайных  $(n, k)$ -векторов при моделировании ОМС // *Теоретические проблемы информатики и ее приложения: Сб. науч. тр.* – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. – 2007. – № 7. – С. 36–43.

Поступила 02.02.2010  
Тел. для справок: (044) 454-9032 (Киев)  
E-mail: romankev@ses.ntukpi.kiev.ua  
© В.А. Романкевич, И.В. Майданюк, 2011